

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

**ZAVRŠNI RAD**

**Senad Glojnarić-Porić**

**Zagreb, 2008.**

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**

**prof. dr. sc. Mladen Šercer**

**Senad Glojnarić-Porić**

**Zagreb, 2008.**

**Izravno prešanje poli(etilen-tereftalata)**

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj završni rad radio samostalno, uz korištenje navedene literature i konzultacija.

---

Senad Glojnarić-Porić

## **SAŽETAK**

U radu je opisano izravno prešanje polimera, materijalna uporaba polimernih materijala, te navedena svojstva i primjena poli(etilen-tereftalata).

U eksperimentalnom dijelu cilj je bio ispitati mehanička svojstva izradaka načinjenih izravnim prešanjem poli(etilen-tereftalata). Dobiveni otpresci nisu bili zadovoljavajuće kvalitete te se nisu mogli koristiti za mehanička ispitivanja.

# SADRŽAJ

BROJ STRANICE

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	II
1. UVOD.....	1
2. IZRAVNO PREŠANJE.....	2
3. RECIKLIRANJE – MATERIJALNA OPORABA.....	4
3.1. Klasifikacija recikliranja.....	4
3.2. Oporaba homogenog otpada.....	5
3.2.1. Sakupljanje otpada.....	5
3.2.2. Razvrstavanje otpada.....	6
3.2.3. Fizičko odvajanje.....	9
3.2.4. Kemijsko odvajanje.....	11
3.3. Granuliranje.....	11
4. SVOJSTVA I PRIMJENA POLI(ETILEN-TEREFTALATA).....	12
4.1. Svojstva poli(etilen-tereftalata).....	12
4.2. Utjecaj kompatibilnosti.....	14
5. EKSPERIMENTALNI DIO.....	15
5.1. Izravno prešanje poli(etilen-tereftalata).....	15
5.2. Hlađenje.....	17
5.2.1. Hlađenje na zraku.....	17
5.2.2. Hlađenje vodom.....	18
5.3. Zaključak.....	19
6. ZAKLJUČAK.....	20
7. LITERATURA.....	21

## **POPIS SLIKA**

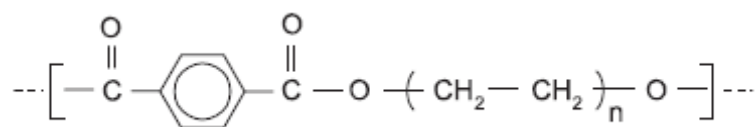
Slika 1.1.	Strukturna formula poli(etilen-tereftalata).....	1
Slika 2.1.	Načelo izravnog prešanja.....	2
Slika 2.2.	Etažna preša za izravno prešanje.....	3
Slika 3.1.	Znak za recikliranje.....	6
Slika 3.2.	Polumehanizirano odvajanje i razvrstavanje plastike.....	7
Slika 3.4.	Konvejer sa drobilicom bala.....	8
Slika 3.5.	Bubanj.....	8
Slika 3.6.	Negativno razvrstavanje.....	9
Slika 3.7.	Pozitivno razvrstavanje.....	9
Slika 3.8.	Pročišćavanje hidrociklonom: 1 - hidrociklon, 2 - priprema suspenzije, 3 – pumpa.....	10
Slika 3.9.	Usitnjeni reciklirani PET.....	11
Slika 4.1.	Sinteza etilen-glikola i dikarboksilne kiseline.....	12
Slika 4.2.	Ambalaža postojanog oblika .....	13
Slika 4.3.	Dijagram svojstva – sastav.....	14
Slika 5.1.	Etažna preša Belišće.....	15
Slika 5.2.	Reciklirani PET.....	16
Slika 5.3.	Metalni kalup.....	16
Slika 5.4.	Aluminijska folija u kalupu.....	16
Slika 5.5.	Otpresak hlađen na zraku.....	17
Slika 5.6.	Kalup hlađen vodom.....	18
Slika 5.7.	Otpresak hlađen vodom.....	18

## **POPIS TABLICA**

Tablica 4.1.	Svojstva PET-a.....	12
--------------	---------------------	----

## 1. UVOD

Poli(etilen-tereftalat), PET, čija je strukturna formula prikazana na slici 1.1, polimerni je materijal iz skupine poliestera razvijen u SAD-u još 1941. godine. Početkom pedesetih godina prošloga stoljeća koristio se kao osnova za vrlo kvalitetna umjetna vlakna u tekstilnoj industriji. Razvoj kemijske industrije doveo je do šire primjene PET-a. Suvremeni je PET oplemenjeni poliester bitno poboljšanih svojstava. To je nelomljiv, žilav materijal, otporan na mehanička opterećenja, lagan, bez mirisa, neutralan glede utjecaja na okus (aromu), nepropustan za kisik i ugljične kiseline te postojan na djelovanje većine kemikalija. PET je i površinski čvrst materijal, postojan trošenju. Suvremeni se PET proizvodi iz nafte ili zemnoga plina te se gotovo isključivo sastoji iz ugljika i vodika. Iz 1,9 kg nafte proizvede se oko 1 kg PET-a. Donja je ogrjevna vrijednost koja se može energijski iskoristiti izgaranjem 23 MJ/kg.[1]



Slika 1.1. Strukturna formula poli(etilen-tereftalata) [2]

Poli(etilen-tereftalat) najviše se koristi u proizvodnji tekstila, raznih folija, te prehrambene ambalaže (najviše plastičnih boca). U svijetu je 2000. godine prerađeno ukupno 8,7 milijuna tona PET-a, a očekivani rast do 2010. samo za područje boca iz PET-a je 8 % godišnje. Zapadna je Europa 2002. godine preradila 3,23 milijuna tona PET-a, od čega se najveći dio preradi u ambalažu. Brojne prednosti PET-a razlog su njegova sve većeg korištenja i u Hrvatskoj i to prvenstveno kao ambalažnoga materijala.[1]

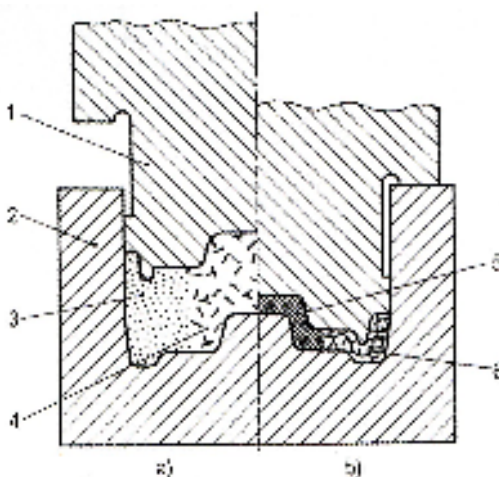
Na temelju analiza procijenjena je ukupna godišnja količina od 320 000 tona ambalažnoga otpada (to je godišnja količina od oko 68 kg/stanovnik).[1] Recikliranjem se ambalažni i drugi otpad može ponovo upotrijebiti. Recikliranje plastike je proces prerade odbačene i stare plastike u proizvod koji se može ponovno koristiti. Poli(etilen-tereftalat) reciklira se da bi se proizvela poliesterska vlakna, boce za pića, termo-izolacijske ploče.[3]



## 2. IZRAVNO PREŠANJE[4]

To je ciklički postupak praoblikovanja. Polimer u obliku praha (duromeri), priprema (duromeri i elastomeri) ili granulata (plastomeri) stavlja se u otvorenu, temperiranu kalupnu šupljinu. Slijedi zatvaranje kalupa. To omogućuje istodobno djelovanje tlaka i topline na prerađivanu tvar koja mora postići potrebnu smičnu viskoznost, nužnu radi postizavanja obliča kalupne šupljine. Tvorevina, otpresak, može očvrnuti: polireakcijom i umreživanjem (duromeri), umreživanjem (elastomeri) ili hlađenjem (plastomeri) i time postaje podobnom za vađenje iz kalupne šupljine.

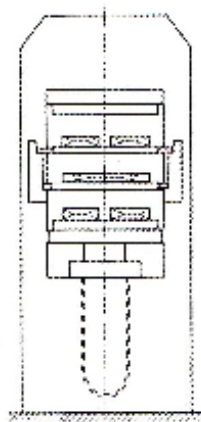
Načelo izravnog prešanja duromernog pretpolimera prikazuje slika 2.1. Prije izravnog prešanja pretpolimer se mora pripremiti. Ta faza rada obuhvaća njegovo predgrijavanje, doziranje i punjenje kalupne šupljine. Predgrijavanje bitno olakšava preradu, predgrijani polimer bolje teče i lakše popunjava kalupnu šupljinu, potreban je niži tlak izravnog prešanja i kraće je vrijeme prešanja. Osim toga, tako se lakše uklanjaju vlaga i mogući drugi isparljivi i hlapljivi sastojci. Predgrijavati se može visokofrekventnim (dielektričnim) i infracrvenim predgrijavalicama ili posebnim pećima. Doziranje se provodi uglavnom automatski, a potrebna se količina pretpolimera može odmjeriti vaganjem ili volumetrijski.



Slika 2.1. Načelo izravnog prešanja; a - početak praoblikovanja, b - završno praoblikovanje,  
1 - žig, 2 - gnijezdo, 3 - duromerni pretpolimer, 4 - amorfna struktura duromernog pretpolimera,  
5 - duromerni otpresak, 6 - umrežena struktura duromernog otpreska

Na početku rada pri izravnom prešanju nasipni se prostor kalupne šupljine popuni odmjerenom količinom pretpolimera (slika 2.1 a), a zatim se kalup s pomoću preše (slika 2.2), zatvori.

Djelovanjem tlaka i uz istodobno zagrijavanje pretpolimer poprima oblik kalupne šupljine (slika 2.1 b). Otpresak uvijek ima određeni pretičak materijala, srh, koji valja odstraniti naknadnom obradom.



Slika 2.2. Etažna preša za izravno prešanje

Potrebna toplina dovodi se najčešće elektrootpornim zagrijavanjem kalupa izvana. Temperatura stijenke kalupne šupljine iznosi 150 – 230 °C, ovisno o vrsti prerađivanog pretpolimera. Uobičajeni su tlakovi izravnog prešanja 20 – 60 N/mm<sup>2</sup>. Kalupi mogu biti pomični, tj. mogu se vaditi iz preše, a mogu biti ugrađeni u gornji i donji nosač kalupa.

### **3. RECIKLIRANJE – MATERIJALNA OPORABA**

Oporaba materijala znači ponovna upotreba materijala.[5] Postoji više vrsta oporaba: materijalna oporaba (recikliranje), energijska oporaba, kemijska oporaba, otopinska oporaba, biorazgradnja i dr.

Materijalna je oporaba najpoznatiji oblik ponovne uporabe polimera i oko 80% plastomera može se oporabiti na taj način. Postupci materijalne oporabe (recikliranja) taljevinski su postupci pri kojima se plastični otpad oporabljuje te se od njega oblikuju nove tvorevine.[5]

#### **3.1. Klasifikacija recikliranja[5]**

Materijalnu je oporabu moguće podijeliti na dva tipa:

1. primarno recikliranje čistoga plastičnog otpada radi ponovne prerade (npr. recikliranje otpada s proizvodne linije)
2. sekundarno recikliranje uporabljenih proizvoda radi dobivanja plastike (homogene ili heterogene) za ponovnu preradu.

Primarno recikliranje podrazumijeva uporabu homogenog i čistog plastičnog otpada, tj. otpad s proizvodne linije ili otpad koji je bio regeneriran i iskorištavan takav ili dodan osnovnom polimeru.

Glavne proizvodne poteškoće povezane s primarnim recikliranjem jesu:

- moguća termomehanička razgradnja zbog ponavljanja procesa
- eventualno onečišćenje nastalog otpada

Tijekom procesa, temperatura, tlak i struktura polimera mogu povećati termomehaničku razgradnju, što može uzrokovati:

- varijacije u molekulnoj masi
- stvaranje oksidiranih sastojaka

Sekundarnim recikliranjem može se reciklirati homogeni i heterogeni otpad. Kod homogenog otpada problemi su slični kao i kod primarnog recikliranja, s dodatkom razgradnje (obično fotooksidacije), kojoj je polimer izložen tijekom uporabe. Tako svojstva ovih recikliranih polimera ne ovise samo o polimeru nego i o njihovoj proizvodnoj prošlosti. Pri recikliranju heterogene plastike dodatni je problem inkompatibilnost različitih polimera prisutnih u otpadu.

### **3.2. Oporaba homogenog otpada**

Recikliranje PET ambalaže je primjer uporabe homogenog plastičnog otpada. Sastoji se od nekoliko koraka: sakupljanja, razvrstavanja, mljevenja, pranja, ekstrudiranja i tabletiranja.[5]

#### **3.2.1. Sakupljanje otpada**

Prva faza u sustavu recikliranja homogenog otpada je njegovo izdvojeno sakupljanje. Tu je često najveći problem osiguranje potrebne količine materijala tražene kvalitete u postojeća preradbeno središta.[5]

Razvijeno je nekoliko načina prikupljanja otpada iz kućanstva:

1. građani dobrovoljno donose otpad na za to točno određena mjesta u svojim zajednicama (posebni kontejneri)
2. otkupni centri
3. trgovine (otkupljuju PET ambalažu)

Polimeri široke potrošnje, najčešće ambalažni, kao PE (polietilen), PET (poli(etilen-tereftalat)) najčešće se recikliraju. U Hrvatskoj se povećala količina sakupljenog PET ambalažnog otpada odkad je na snazi povratna naknada od 0,50 kuna po komadu ambalaže. PE se još uvijek ne sakuplja u dovoljnoj mjeri te velika većina završava na deponijima.

U mnogim zemljama svijeta, pa i Hrvatskoj, sakuplja se PET otpad. To je ambalažni otpad u obliku različitih boca za bezalkoholna pića, pivo i mliječne proizvode. Sakupljanje je organizirano na razne načine. Postoje posebni kontejneri za PET ambalažu i organizirani otkup takve ambalaže.

U samom postupku sakupljanja PET ambalažnog otpada najviše sudjeluju sami potrošači. Na ambalaži postoji znak za recikliranje (slika 3.1). Broj 1 označava PET.



Slika 3.1. Znak za recikliranje [6]

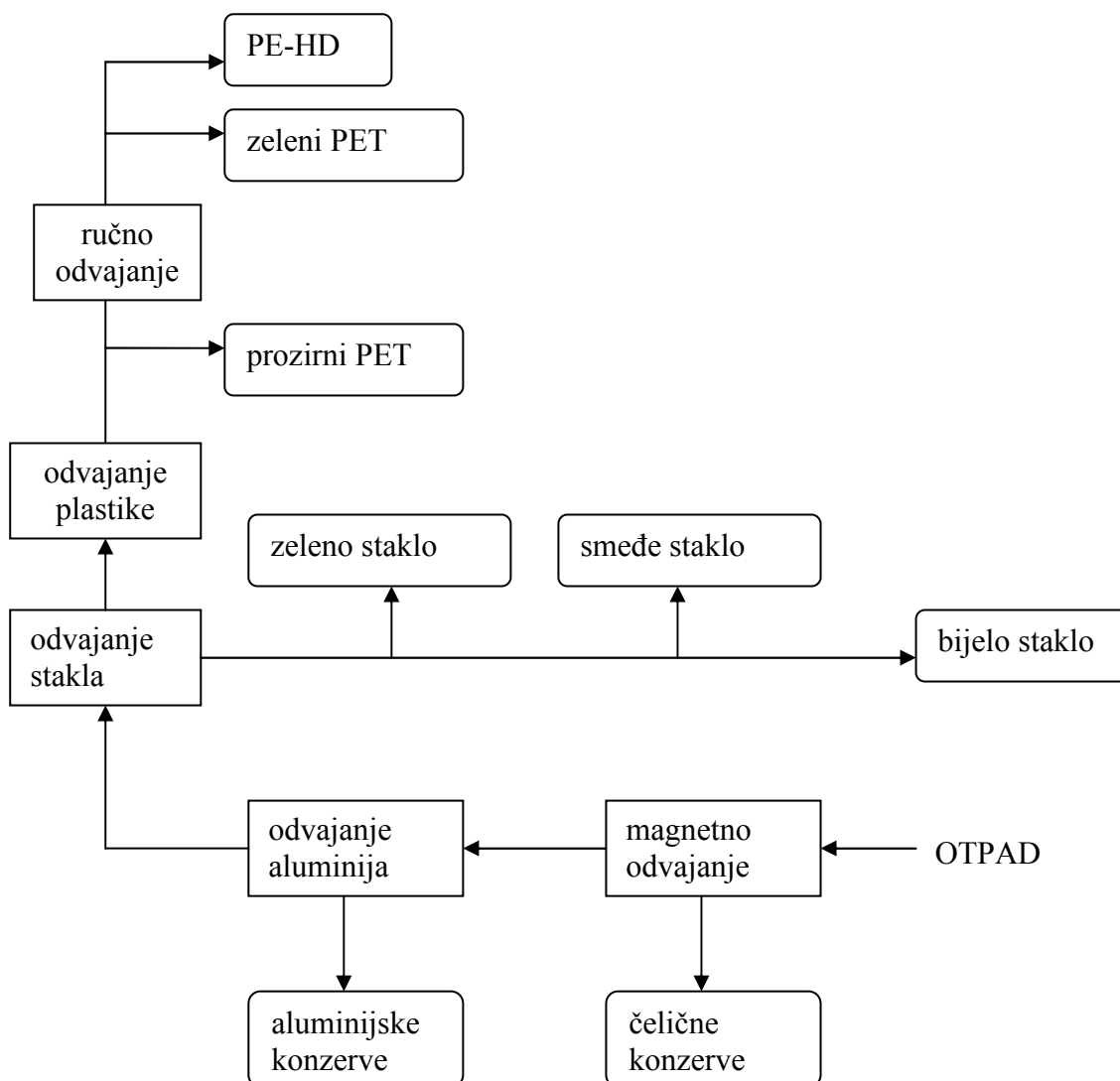
Takav otpad se umjesto na deponije odlaže u reciklažna dvorišta. Tamo se PET boce najčešće prešaju da bi zauzimale manje prostora te se baliraju (slika 3.2).



Slika 3.2. Bale PET boca [5]

### **3.2.2. Razvrstavanje otpada**

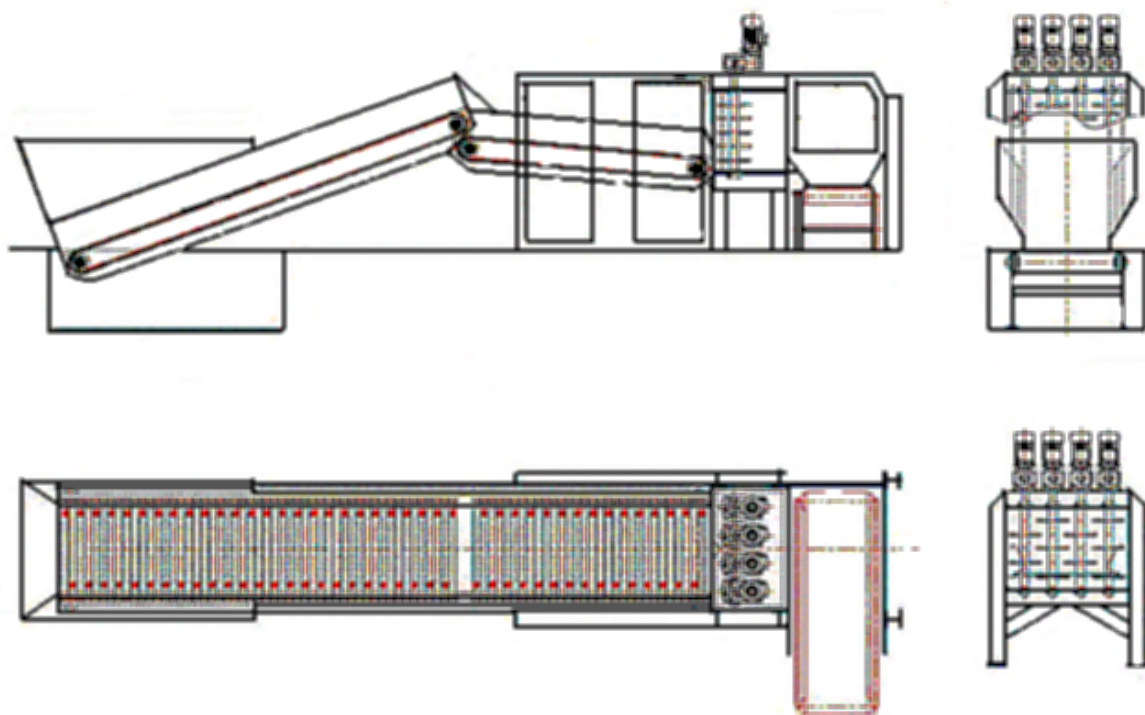
Postupak razvrstavanja kućnog otpada provodi se na mnogo različitih načina, od ručnog do automatiziranog. Pri ručnom razvrstavanju, npr. boca, one se nalaze na pokretnoj traci i odvajaju se ovisno o tome za što su služile (PET za bezalkoholna pića, PE za detergente, poli(vinil-klorid) za vodu, i sl.). Na slici 3.3 prikazano je polumehanizirano postrojenje za odvajanje i razvrstavanje plastike iz kućnog otpada.



Slika 3.3. Polumehanizirano odvajanje i razvrstavanje plastike [5]

Ambalažni otpad se mora očistiti od stakla, metala, tekstila, papira, drugih polimera (npr. polipropilen, PE) i drugih nečistoća koje su tamo dospjele tijekom sakupljanja otpada, a sada se nalaze u balama PET-a. Samo čisti PET se reciklira.

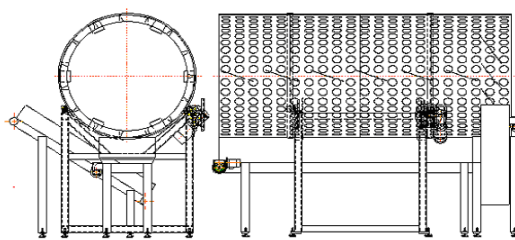
Bale se konvejerom dovode do drobilice (slika 3.4) koja ih rastavi na pojedinačne boce. Zatim dolaze na poseban konvejer koji ima magnetske trake kako bi se odvojili feromagnetski metali. Konvejer ima i detektor metala za metale koji nisu feromagnetski (aluminij-limenka).



Slika 3.4. Konvejer sa drobilicom bala [7]

Nakon toga konvejer šalje otpad u veliki metalni bubanj koji na stijenkama ima otvore.

Bubanj (slika 3.5) rotira i izbacuje male krhotine stakla, PVC koji je postao lomljiv zbog izloženosti UV zračenju, kamenčiće itd. Bubanj također odvaja boce koje drobilica bala nije uspjela odvojiti.



Slika 3.5. Bubanj [7]

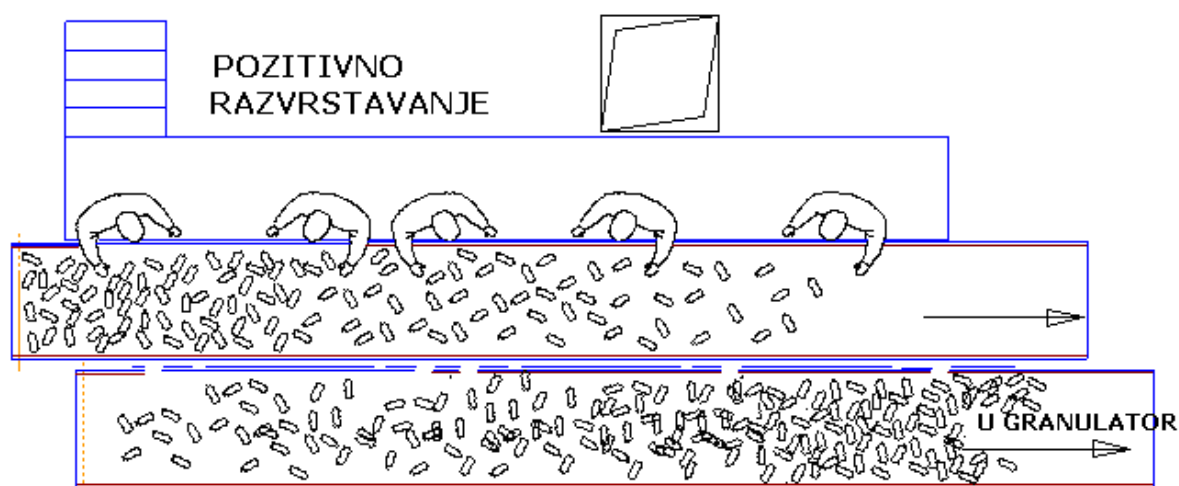
Bubanj PET ambalažu dostavlja konvejeru za daljnje razvrstavanje. Razvrstavanje se sada vrši prema boji a odvajaju se i predmeti od drugih polimera (npr. PVC). Ovakvo ručno razvrstavanje pogodno je za manje kapacitete. Cilj razvrstavanja je dobiti PET ambalažu iste boje sa što manje nečistoća. Postoje dvije vrste ručnog razvrstavanja: negativno (slika 3.6) i pozitivno (slika 3.7).

Kod negativnog razvrstavanja sa trake se miče otpad koji nije PET ili bojom ne odgovara, a ostali otpad odlazi konvejerom u granulator.



Slika 3.6. Negativno razvrstavanje [7]

Kod pozitivnog razvrstavanja postoje dva konvejera. Sa prvog konvejera uzima se PET ambalaža i stavlja na konvejer za granulator. Otpad koji ostaje na prvom konvejeru odlazi na daljnje razvrstavanje. Ovo je bolji način razvrstavanja.



Slika 3.7. Pozitivno razvrstavanje [7]

Recikliranje miješanog plastičnog otpada je komplicirano, a najčešće i nemoguće, zbog međusobne inkompatibilnosti sastojaka otpada. Za takve slučajeve razvijen je niz mogućnosti odvajanja, koji se daju podijeliti u dvije osnovne skupine: fizičko odvajanje i kemijsko odvajanje.

### 3.2.3. Fizičko odvajanje[5]

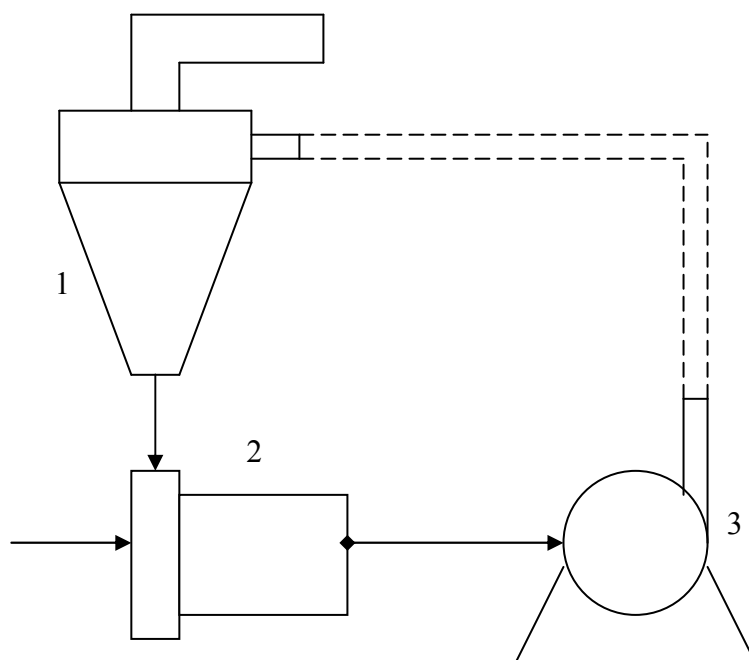
Postupci fizičkog odvajanja su: prosijavanje, zračno odvajanje, balističke metode, elektrostatsko odvajanje, odvajanje na osnovi gustoće, plutanje, te hidrociklonsko odvajanje.



Za razdvajanje plastike od papira najčešće se primjenjuje razdvajanje na vrućem rotirajućem valjku na koji se plastika zalijepi i odvaja od papira, tekstila i metala. Najefikasniji suhi postupak odvajanja plastike i papira je elektromehanički postupak. Elektromehaničkim se postupkom usitnjena mješavina papira i plastike, transportira u bubanj koji je uzemljen. Smjesa plastike i papira dolazi u dodir s koronom koja nastaje između elektrode i uzemljenog bubnja.

Za razdvajanje pojedinih polimera iz mješavine najčešće se primjenjuju postupci u taljevini. Materijal za razdvajanje je mješavina plastičnih materijala, a kao sredstvo za razdvajanje koristi se voda. Razdvajanje se provodi na osnovi razlike gustoće polimera u mješavini. Mješavina se plastičnih materijala bez miješanja stavi u posudu s vodom, pri čemu polietilen i polipropilen isplivaju na površinu, dok polistiren i poli(vinil-klorid) padaju na dno i s pomoću vodene otopine kalcij-klorida razdvajaju, dok se poliolefini razdvajaju vodenom otopinom alkohola. Ovi postupci daju dobre rezultate s eksperimentalnim mješavinama, dok stvarne mješavine sadrže i punila te razne aditive, tako da je razdvajanje na osnovi gustoće često nepouzđano.

Posebno važan dio postrojenja za pročišćavanje polimera je hidrociklon. Odvajanje različitih čestica ili čišćenje provodi se u centrifugalnom polju. Unutarnji vrtlog hidrocilona služi za dobivanje lake, a vanjski za dobivanje teške frakcije. Slika 3.8 shematski prikazuje pročišćavanje hidrociklonom.



Slika 3.8. Pročišćavanje hidrociklonom: 1 - hidrociklon, 2 - priprema suspenzije, 3 – pumpa

### 3.2.4. Kemijsko odvajanje[5]

To su različiti postupci otapanja/taloženja. Posebni polimeri koji se otapaju u lužinama, filtriranjem i centrifugiranjem se izdvajaju iz otopine. Na kraju, polimer se istaloži iz otopine te se može ponovo iskoristiti.

### 3.3. Granuliranje[7]

Granuliranje je postupak proizvodnje granulata polimera, materijala za ekstrudiranje. Granulat od recikliranog amblažnog PET-a proizvodi se od sortiranog otpada u granulatorima. To su strojevi koji sustavom noževa melju plastiku u granulat. Tijekom rada noževi sa ambalaže skidaju plastične ili papirnate naljepnice. Tako se dobije mješavina granulata PET-a, te sitni komadići papira ili polietilena koji se kasnije odvoje od granulata u protustruji zraka ili nekom drugom metodom pročišćavanja. Konačni produkt je granulat PET-a, te određeni mali udio nečistoća koji se nije uspio odvojiti u postupku. Ovisno o traženom stupnju čistoće granulata, koji ovisi o tome za koji proizvod će se upotrebljavati, vrši se i pranje i sušenje granulata. Prehrambena industrija zahtijeva visoku čistoću materijala za ambalažu, dok strojogradnja to ne zahtijeva. Slika 3.9 prikazuje usitnjeni reciklirani PET.

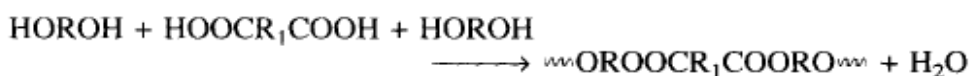


Slika 3.9. Usitnjeni reciklirani PET [8]

## 4. SVOJSTVA I PRIMJENA POLI(ETILEN-TEREFTALATA)

### 4.1. Svojstva poli(etilen-tereftalata)[9]

Poli(etilen-tereftalat) je linearni poliester koji pripada grupi linearnih plastomera. Linearni poliesteri su u pravilu tvrdi i žilavi konstrukcijski materijali postojanih dimenzija. Imaju dobra klizna, dugotrajna mehanička svojstva i dobre su kemijske postojanosti. Žilavi su do  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Svjetska proizvodnja PET-a 1997. godine procijenjena je na  $16,7 \times 10^6$  tona godišnje. Sintetizira se postupkom polikondenzacije etilen-glikola i tereftalne kiseline uz oslobađanje vode (slika 4.1). Sklon je kristaliziranju. Stupanj kristalizacije bitno utječe na mehanička svojstva PET-a.



Slika 4.1. Sinteza etilen-glikola i dikarboksilne kiseline [2]

PET se odlikuje izvanrednim mehaničkim svojstvima, malim upijanjem vode (0,02 %), dobrom postojanošću oblika i dimenzija i malim koeficijentom toplinske rastezljivosti. Ima visoku nepropusnost za plinove, postojanost prema atmosferalijama te sjajnu površinu. Može biti samogasiv. Relativno je tvrd i ima izvrsna tarna svojstva.

Kemijska postojanost mu se povisuje porastom stupnja kristalnosti. Općenito se teško prerađuje zbog spore kristalizacije iz taljevine u čvrsto stanje. Amorfni PET ima bitno niža mehanička svojstva. U tablici 4.1. navedena su svojstva PET-a.

Tablica 4.1. Svojstva PET-a[2,9]

Gustoća $\rho$ , $\text{kg/m}^3$	1360
Vlačna čvrstoća $R_m$ , $\text{N/mm}^2$	75
Vlačni modul elastičnosti $E$ , $\text{N/mm}^2$	2800
Savojni modul elastičnosti $E_s$ , $\text{N/mm}^2$	3000
Prekidno istezanje $\varepsilon_p$ , %	70
Talište $T_m$ , $^{\circ}\text{C}$	265
Staklište $T_s$ , $^{\circ}\text{C}$	80
Upijanje vode 24h na $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , %	0,02
Upijanje vode 2h na $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , %	0,1
Temperatura omekšavanja (Vicat), $^{\circ}\text{C}$	261
Tvrdoća Rockwell(M)	106
Dielektrična konstanta $\varepsilon_p$ , Hz	$3,37 \times 10^6$

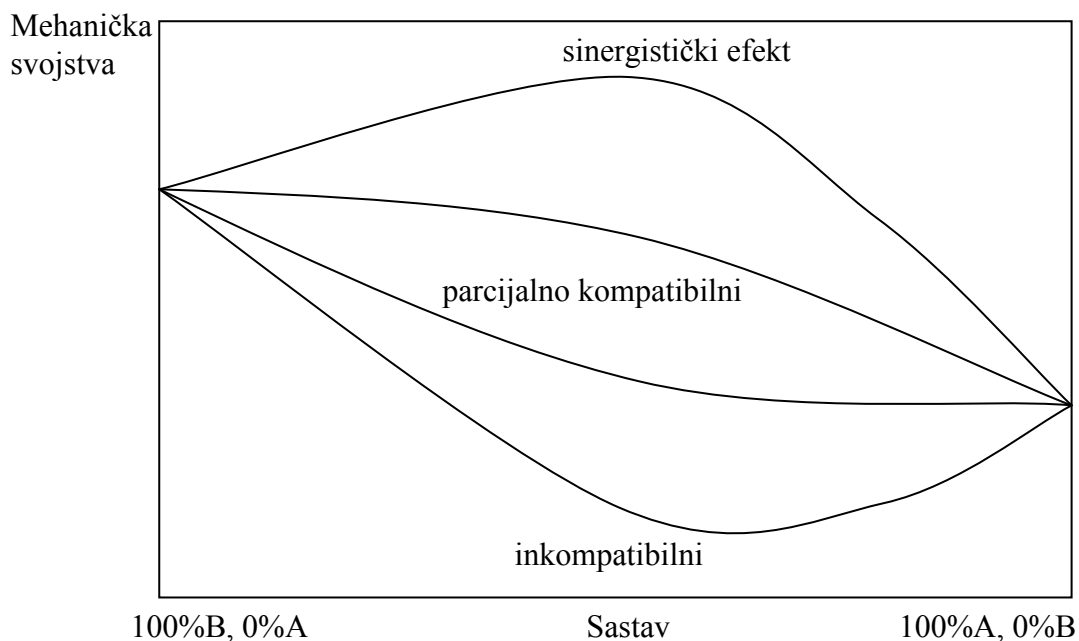
Primjenjuje se za ambalažu postojanog oblika (slika 4.2), sintetska vlakna, elemente strojeva (klizni ležaji, zupčanici, kotači, dijelovi crpki, zasuni), elektroindustrija (konektori, sklopke, kućišta osigurača), filmovi, audio/video vrpce, u medicini itd.[9]



Slika 4.2. Ambalaža postojanog oblika [10]

#### 4.2. Utjecaj kompatibilnosti na svojstva proizvoda[5]

Problem kompatibilnosti je jedan od razloga zašto se plastični otpad razvrstava prilikom recikliranja. Činjenica je da je samo nekoliko polimernih parova kompatibilno. Kompatibilnost se može opisati pomoću krivulje *svojstva – sastav*, gdje su svojstva uzeta kao makroskopske karakteristike, poput mehaničkih ili reoloških svojstava. Slika 4.3 prikazuje krivulje za parove koji su kompatibilni, djelomično kompatibilni ili inkompatibilni.



Slika 4.3. Dijagram svojstva – sastav

Sinergistički efekt pojavljuje se samo u mješavinama s jakom interakcijom između dviju faza. Mješavina PE-HD/PET je vrlo kompatibilna. To znači da se mješavinom odbačenih polietilenskih vrećica i PET boca recikliranjem mogu dobiti proizvodi dobrih mehaničkih i drugih svojstava.

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

### 5.1. Izravno prešanje poli(etilen-tereftalata)

Svrha ovog ispitivanja bila je izraditi ploču iz PET-a postupkom izravnog prešanja.

U ovom ispitivanju za izravno prešanje koristila se etažna preša Belišće (slika 5.1).



Slika 5.1. Etažna preša Belišće

Maksimalna temperatura etažne preše je 450 °C, a maksimalni tlak je 600 bara.

PET (slika 5.2) se prešao u metalnom kalupu (slika 5.3) koji se sastojao od gornje i donje metalne ploče i metalnog okvira koji se nalazi između njih. Polimer i kalup bili su odijeljeni aluminijskom folijom (slika 5.4) kako ne bi došlo do ljepljenja polimera za kalup.





Slika 5.2. PET



Slika 5.3. Metalni kalup



Slika 5.4. Aluminijska folija u kalupu

Parametri postupka izravnog prešanja poli(etilen-tereftalata) su slijedeći:

Temperatura ploča: 265 °C

Tlak prešanja: 100 bara

Vrijeme pritiska: 2 min 30 s

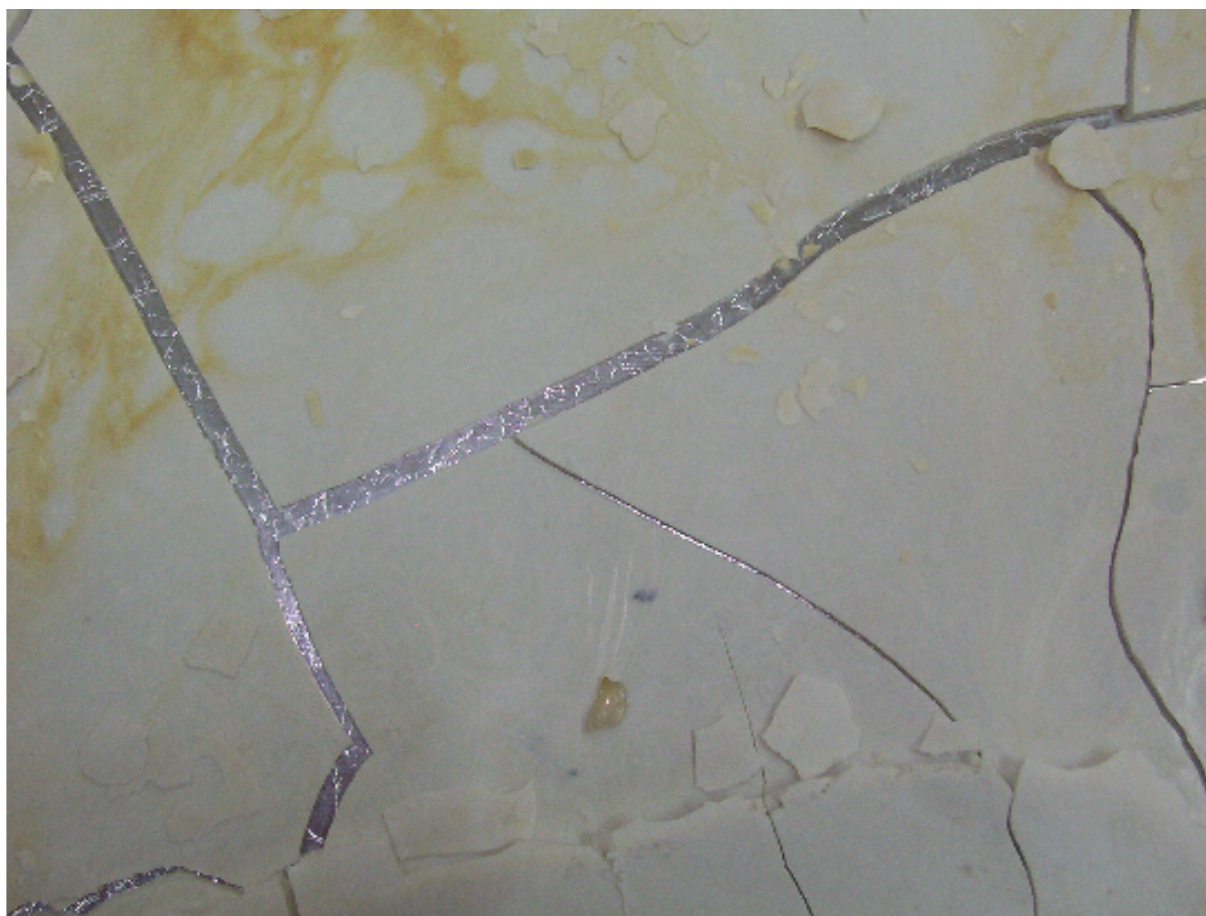
Masa materijala: 550 grama

## **5.2. Hlađenje**

Nakon prešanja, otpresci su hlađeni na dva načina: na zraku i vodom.

### **5.2.1. Hlađenje na zraku**

Hlađenjem na zraku ( $\approx 20$  min) dobiven je otpresak bijele boje, neproziran, vrlo krhak i vrlo tvrd (slika 5.5). Otpresak je tijekom hlađenja popucao na više dijelova.

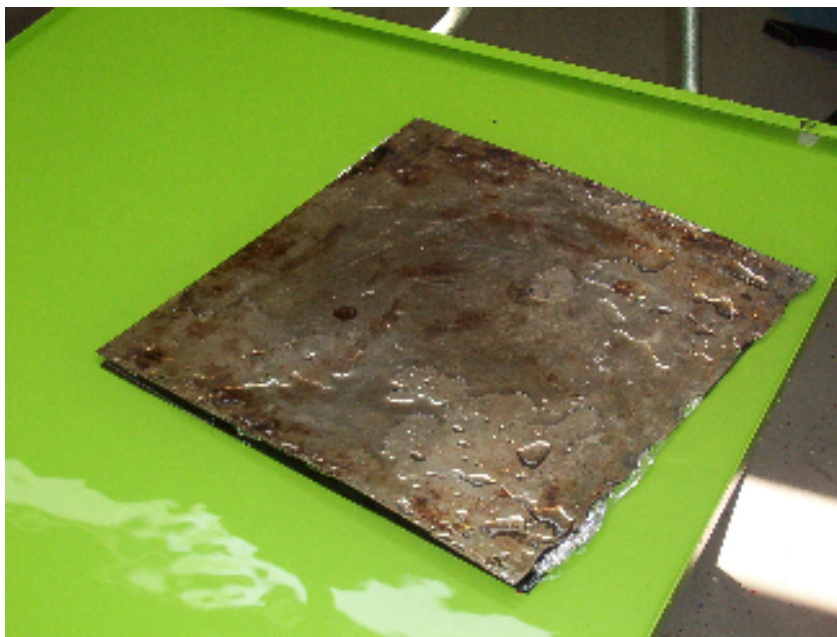


Slika 5.5. Otpresak hlađen na zraku



### 5.2.2. Hlađenje vodom

Hlađenje vodom ( $\approx 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) izvedeno je uranjanjem kalupa u vodu (slika 5.6). Hlađenje je u ovom slučaju mnogo brže.



Slika 5.6. Kalup hlađen vodom

U ovom slučaju otpresak je čvrst, nije krhak, nije potpuno neproziran (slika 5.7). Na površini otpreska ipak ima pukotina, ali ne i lomova čitavog otpreska.



Slika 5.7. Otpresak hlađen vodom

### 5.3. Zaključak

Kvaliteta oba otpreska nije zadovoljavajuća, premda je otpresak hlađen vodom mnogo bolje kvalitete. Razlog razlike između otpreska hlađenog na zraku i vodom je drugačija kristalizacija. Postoje dva važna parametra kod kristalizacije: nukleacija i brzina rasta kristala. Broj nukleusa je najveći pri temperaturi staklišta i opada sa porastom temperature, dok je brzina rasta kristala najveća na temperaturi taljenja i opada s padom temperature.[2] Kod hlađenja na zraku PET je kristalizirao na višim temperaturama, bliže temperaturi taljenja. To je dovelo do slabije nukleacije, ali brže kristalizacije. Rezultat je krupnozrnata mikrostruktura, velike krhkosti, potpuno neprozirna. Kod hlađenja vodom PET je kristalizirao na nižim temperaturama, bliže temperaturi staklišta. To je dovelo do veće nukleacije, ali i sporije kristalizacije. Rezultat je sitnozrnata mikrostruktura, znatno manje krhkosti, djelomično prozirna.

PET se uglavnom koristi za tankostijene proizvode (npr. boce). Otpresak je bio debljine otprilike 4 milimetra. Debljina otpreska utječe na brzinu hlađenja, pa i tu treba tražiti razlog neuspjeha.

Izravnim prešanjem PET se ne može kvalitetno preraditi, barem ne na jednostavan način. Najveća zapreka je potreba za kvalitetnim hlađenjem. Hlađenje mora biti kvalitetno izvedeno jer o njemu ovisi mikrostruktura otpreska.

## 6. ZAKLJUČAK

Recikliranje materijala štiti okoliš. Materijali koji bi inače završili u okolišu ponovno se upotrebljavaju. Plastični materijali odbačeni u okoliš teško se razgrađuju i stoga onečišćuju okoliš u dugom vremenskom razdoblju. Potrošnja plastike za ambalažu je u porastu. Plastične boce, plastične vrećice, razne posudice, sve se koriste samo jednom, a kasnije postaju otpad. Količina takvog otpada je velika jer se radi o proizvodima široke potrošnje. Sakupljanjem plastičnog otpada i njegovim recikliranjem mogu se proizvesti nove plastične boce, vrećice i slična ambalaža.

Od recikliranog poli(etilen-tereftalata) ne rade se samo nove plastične boce. Njegova upotreba je mnogo šira. Od PET-a se mogu izraditi: dijelovi za automobile, pokrivači, tepisi, sportski proizvodi. Poznate marke kao što su Reebok i Patagonia koriste reciklirani PET.

Porastom svijesti o zaštiti okoliša, recikliranje kao gospodarska aktivnost će postati važan dio svakog gospodarstva, i omogućit će otvaranje novih radnih mjesta.

## 7. LITERATURA

1. Radović S., Milanović Z.: *Razvoj odvojenoga sakupljanja i recikliranja ambalažnoga otpada od PET-a u Republici Hrvatskoj*, Čistoća d.o.o., Zagreb, 2004.
2. J.A.Brydson: *Plastics Materials*, 7th edition, 1999
3. Krstić G.: *Recikliranje plastike*, <http://www.e-recycle.com>, 16.1.2008.
4. Čatić, I.: *Proizvodnja polimernih tvorevina*, Biblioteka polimerstva – serija zelena, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
5. Šercer M. i dr.: *Oporaba plastike i gume*, Gospodarstvo i okoliš, Zagreb, 2000.
6. [http://en.wikipedia.org/wiki/Recycling\\_of\\_PET\\_Bottles](http://en.wikipedia.org/wiki/Recycling_of_PET_Bottles), 23.1.2008.
7. <http://www.ledarecycling.it/default.htm>, 23.1.2008.
8. <http://www.made-in-china.com>, 23.1.2008
9. Filetin T., Kovačiček F., Indof J.: *Svojstva i primjena materijala*, 2002.
10. <http://www.akmarket.com>, 23.1.2008